

6
А-39

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

На правах рукописи

И. А. АПОКИН

РАЗВИТИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ
ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

(специальность № 580: история науки и техники)

Автореферат
диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

МОСКВА, 1971

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

На правах рукописи

И. А. АПОКИН

РАЗВИТИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ
ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

(специальность № 580: история науки и техники)

Автореферат
диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

МОСКВА, 1971

6
139

Развитие вычислительной техники является одним из важнейших компонентов современного научно-технического прогресса. Впервые в истории наряду с различными типами технических устройств, механизмирующих и автоматизирующих физический труд, значительную роль в общественном производстве стали играть устройства, механизмирующие процессы умственного труда. Значительное повышение роли вычислительной техники в общественном производстве связано с революционным скачком в производительности вычислительных машин, имевшим место на рубеже 40-х и 50-х годов XX в. и обусловленным созданием программно управляемых электронных цифровых вычислительных машин (ЦВМ). Начиная с этого времени, роль вычислительной техники в развитии производительных сил общества быстро возрастает, процесс совершенствования и масштабы применения вычислительной техники становятся важными моментами современной научно-технической революции, а уровень развития вычислительной техники — одним из показателей национальных достижений в области экономики, науки и техники.

В этой связи большое значение приобретает исследование причин, характера, закономерностей и следствий развития программно управляемых электронных ЦВМ, определение их роли в современной научно-технической революции и анализ дальнейшего пути их развития. Настоящее исследование имеет своей целью выявление некоторых особенностей процесса развития современной вычислительной техники, включая решение следующих задач:

1. Анализ исторического пути важнейшего направления современной вычислительной техники — универсальных электронных ЦВМ и выявление тенденций их развития.

2. Определение роли вычислительной техники в научно-технической революции XX в. Попытка анализа характера современной научно-технической революции с позиций роли механизации умственного труда в развитии науки и техники.

3. Анализ методики построения периодизации конкретной области техники на примере периодизации электронных ЦВМ.

Настоящая диссертация состоит из введения, шести глав и заключения.

Ниже кратко реферируется содержание отдельных глав.

1. Периодизация развития электронных ЦВМ

На основе анализа развития универсальных электронных ЦВМ может быть построен ряд вариантов периодизации в зависимости от угла зрения, под которым изучается данная тема, т. е. в зависимости от задач исследования. При этом каждый из вариантов будет отражать внутреннюю логику развития электронных ЦВМ.

Например, рассматривая историю универсальных электронных ЦВМ с точки зрения эволюции их структур, можно построить периодизацию, в основе которой лежит развитие принципа параллельной обработки информации.

Развитие структур универсальных машин можно рассматривать также с точки зрения их эволюции в процессе последовательного расширения областей применения цифровой вычислительной техники. При этом возможно построение периодизации, учитывающей появление сначала ЦВМ для научно-технических расчетов, затем универсальных ЦВМ для обработки больших массивов информации и, наконец, управляющих машин общего назначения.

Развитие структур можно, наконец, рассмотреть с точки зрения развития системного подхода к конструированию средств цифровой вычислительной техники. При этом может быть предложена периодизация по следующей схеме: цифровые вычислительные машины — цифровые вычислительные системы — многомашинные комплексы вычислительных средств.

Возможность построения различных схем периодизации отражает существование объективных тенденций развития электронной цифровой вычислительной техники. В то же время различные варианты периодизации не являются равноценными с точки зрения их содержательности, т. е. с позиций выявления сущности основного направления развития универсальных электронных ЦВМ. Таким образом, встает задача изучения развития универсальных электронных ЦВМ с целью выявления наиболее существенной черты данного процесса, причем полученные данные могли бы служить основой для построения общей (основной) схемы периодизации.

Рассмотрение истории цифровой вычислительной техники показывает, что одной из важнейших характеристик ее развития является систематическое расширение круга и класса практически решаемых задач или, иными словами, систематическое расширение возможностей переработки информации с помощью ЦВМ. Приняв в качестве количественной меры возможностей переработки информации производительность ЦВМ, рассмотрим процесс повышения производительности машин в историческом аспекте. Здесь прежде всего обращает на себя внимание резкий (качественный, революционный) скачок, связанный с созданием электронных ЦВМ.

Рассмотрение обстоятельств качественного скачка в развитии ЦВМ на рубеже 50-х годов XX в. приводит к выводу, что решающую роль здесь сыграли характеристики элементов, от которых преимущественно зависели вычислительные возможности ма-

шин. Характеристики любого элемента зависят, во-первых, от физической сущности используемого явления, которая во многом определяет параметры элемента, и, во-вторых, от уровня конструирования и технологии изготовления. Таким образом, представляется возможным рассматривать характеристики элементов как функцию комплексного физико-технологического фактора.

Рассмотрение развития электронных ЦВМ под углом зрения влияния физико-технологического фактора на эволюцию производительности машин приводит к следующим выводам.

Повышение производительности электронных ЦВМ достигается в основном за счет четырех факторов:

1) физико-технологического; 2) схемного, т. е. в результате эффективной организации элементов в схемы, устройства и блоки; 3) структурного, т. е. вследствие совершенствования организации совокупности схем, блоков и устройств, составляющих вычислительную машину; 4) программного, т. е. в результате разработки более эффективных методов программирования.

Наиболее важную роль среди данных четырех факторов играет физико-технологический фактор. С переходом от преимущественного использования одного из типов элементов к другому существенно изменялись все основные параметры ЦВМ. Разумеется, все эти изменения были обусловлены не только влиянием физико-технологического фактора, но и воздействием таких факторов, как схемный, структурный и программный. Однако применение новых схемных решений и последовательное усложнение структуры ЦВМ во многом становилось возможным благодаря последовательному повышению уровня надежности элементов, обусловленному изменением их физико-технологических особенностей. При этом уровень надежности во многом определял количество элементов, используемых в ЦВМ и ее отдельных устройствах. Количество же элементов во многом служило основой для реализации новых схемных и структурных решений. Таким образом, физико-технологический фактор выступает в истории электронных ЦВМ в качестве основы для разработки новых схем и структур, которые в свою очередь вносят существенный вклад в повышение производительности ЦВМ.

Относительно независимым является развитие программирования, вклад которого в повышение производительности ЦВМ также весьма существенен. Конечная взаимосвязь программирования и физико-технологического фактора выявляется при рассмотрении более длительных промежутков истории развития цифровой вычислительной техники, чем развитие только электронных ЦВМ. Если рассмотреть развитие вычислительной техники на двух последовательных этапах: электромеханические ЦВМ — электронные ЦВМ, то нетрудно заметить, что разработка средств программирования стала актуальной только в период создания электронных ЦВМ, т. е. в результате применения новых (электронных) схемных элементов в вычислительной технике. Применение электроники

привело к формированию нового типа ЦВМ (машины с хранимой программой), что в высшей степени стимулировало разработки в области теории алгоритмов, вычислительной математики, средств программирования т. д.

В результате общая схема периодизации развития универсальных ЦВМ принимает следующий вид:

Вторая половина 30-х и 40-е годы — период зарождения электронной цифровой вычислительной техники.

Начало — середина 50-х годов — ЦВМ на электровакуумных приборах.

Конец 50-х — середина 60-х годов — ЦВМ на дискретных полупроводниках и магнитных элементах.

Конец 60-х — начало 70-х годов — ЦВМ на интегральных схемах.

Середина 70-х годов — ориентировочное начало периода ЦВМ на интегральных подсистемах.

Хронологические рамки данных периодов были определены на основе критерия серийного выпуска новых моделей универсальных ЦВМ гражданского назначения. В соответствии с этим критерием год, когда большинство новых серийных моделей выпускается, например, на интегральных схемах, принимается за первый год нового периода (периода машин третьего поколения).

II. Зарождение электронной вычислительной техники

В качестве основных технических предпосылок создания универсальных ЦВМ рассматривается развитие электроники и счетно-перфорационных машин. Особое внимание уделяется работам, не получившим должной оценки в литературе, в том числе работам К. Цузе и Дж. Атанасова.

По проекту немецкого инженера К. Цузе в 1941 г. была построена первая в мире программно управляемая релейная ЦВМ «Ц-3».

Отказ от механических элементов, использование встроенной плавающей запятой и двоичной системы счисления выгодно отличают машину «Ц-3» от известной машины «МАРК-1» (США, 1944 г.). В исторических справках, содержащихся в учебниках и монографиях по вычислительной технике, «МАРК-1» ошибочно рассматривается как первая в мире автоматическая программно управляемая ЦВМ.

Первой попыткой создания электронной ЦВМ явились работы по проекту Дж. Атанасова (США), прерванные в начале 1942 г. из-за вступления США во вторую мировую войну.

Роль первой действующей электронной ЦВМ (машина «ЭНИАК», США, 1945 г.) в истории вычислительной техники заключается прежде всего в убедительной демонстрации высокой эффективности применения электроники. Однако структура машины, во многом близкая структуре релейно-механической машины

«МАРК-1», не соответствовала специфике использования электронных элементов.

В 1945—1946 гг. Дж. Нейман разработал принципы организации ЦВМ, оптимальным образом соответствующие уровню электронной технологии 40-х годов. Историческое значение работ Дж. Неймана заключается, в частности, в теоретическом обосновании и практической реализации принципа хранимой программы. Работы по проектам машин, разработанным под руководством Дж. Неймана («ЭДВАК», «ИАС», «МАНИАК» и др.), оказали значительное влияние на вычислительную технику 50-х годов.

Развертыванием работ по реализации проектов машин с хранимой программой завершается первый период развития электронной вычислительной техники — период ее зарождения, охватывающий 30—40-е годы XX в. В данном периоде может быть выделено три основных направления развития ЦВМ: создание программно управляемых релейных машин, машин на электронных лампах со штеккерным программированием и машин с хранимой программой. Последнее направление, оптимальным образом учитывающее как потребности в быстродействующих ЦВМ, так и достигнутый в 40-х годах уровень научно-технического прогресса, постепенно занимает доминирующее положение в цифровой вычислительной технике.

III. ЦВМ на электровакуумных приборах

После окончания второй мировой войны исследования в области электронных ЦВМ развертываются в большинстве промышленно развитых стран. Наряду с учеными США существенную роль в развитии вычислительной техники конца 40-х годов сыграли ученые Великобритании. В 1949 г. (т. е. на год раньше чем в США) были введены в эксплуатацию первые ЦВМ с хранимой программой («ЭДСАК» и машина Манчестерского университета). Существенное значение имели работы Ф. Вильямса, создавшего первое ЗУ на ЭЛТ (1948 г.), М. Уилкса, под руководством которого впервые был разработан на практике метод библиотечных подпрограмм, и А. Тьюринга, работы которого охватывают широкий круг вопросов развития ЦВМ. В СССР, несмотря на то, что исследования были начаты на несколько лет позже, чем в США и Великобритании, в сжатые сроки был успешно разработан ряд проектов электронных ЦВМ. Наряду с С. А. Лебедевым, Б. Я. Базилевским, И. С. Бруком, Б. И. Рамеевым и другими учеными, руководившими работой по первым отечественным проектам электронных ЦВМ, существенный вклад в развитие вычислительной техники внесли советские математики. Операторный метод программирования, разработанный под руководством А. А. Ляпунова и М. Р. Шура-Бура, стал одной из основ дальнейшего развития алгоритмических языков.

Период преимущественного применения электровакуумных

приборов в ЦВМ явился в то же время периодом их постепенного вытеснения элементами на основе твердого тела, которые не уступали электронным лампам по скорости работы, но превосходили их по надежности и степени миниатюризации. Важными моментами данного процесса являются замена ламповых диодов полупроводниковыми (первая половина 50-х годов) и замена оперативных ЗУ на ЭЛТ памятью на ферритовых сердечниках (середина 50-х годов). В универсальных ЦВМ полупроводниковые диоды впервые были использованы в машине «СЕАК» (США, 1950 г.), а ЗУ на сердечниках — в машине «Вихрь» (США) в 1952 г.

Развитие технологии памяти оказало существенное влияние на структуру машин. Иерархическая организация памяти, впервые предложенная Дж. Нейманом в 1946 г., следующим образом была реализована в машинах высокого класса 50-х годов: оперативное ЗУ с произвольной выборкой (на сердечниках) — накопитель с квазипроизвольной выборкой (на магнитном барабане) — накопитель с последовательной выборкой (на магнитных лентах). Создание плавающих магнитных головок (США, 1956 г.) оказало революционное влияние на последующее развитие ЗУ с квазипроизвольной выборкой, в частности, позволило создать эффективные дисковые ЗУ (первая машина с ЗУ на дисках — «Рамак», США, 1957 г.). Создание быстродействующих ЗУ на сердечниках способствовало переходу к временному разделению работы памяти между процессором и устройствами ввода-вывода. Впервые реализованное в машине «ИБМ-704» (США, 1955 г.) временное разделение работы памяти явилось исходным моментом последующих работ в области мультипрограммирования. Развитие постоянных ЗУ способствовало реализации концепции микропрограммирования, впервые предложенной М. Уилксом и реализованной в машине «ЭДСАК-II» (Великобритания, 1957 г.).

В области программирования в рассматриваемый период времени (50-е годы) основное направление развития заключается в постепенном переходе от ручных методов составления программ к автоматизации программирования. Идеи операторного метода программирования были использованы при создании обобщенных алгоритмических языков высокого уровня («АЛГОЛ», первый вариант — 1958 г.; «ФОРТРАН», 1958 г.), ориентированных на научно-технические расчеты.

Таким образом, в 50-е годы был выдвинут и частично реализован на практике ряд идей, в области технологии, структуры и программирования, оказавших существенное влияние на вычислительную технику 60-х годов.

В 50-е годы универсальные ЦВМ постепенно завоевывают доминирующее положение в системе средств вычислительной техники, что объясняется высокими потребностями общества в механизации умственного труда, прежде всего в сфере научно-технических расчетов, являющейся основной сферой применения ЦВМ в рассматриваемый период. Во многом благодаря вычислительным

машинам в 50-е годы был создан ряд технических систем, реализация которых была связана с большим объемом вычислений. Применение ЦВМ существенно способствовало успеху разработок в таких областях, как водородное оружие, реактивная авиация, ракетная техника и атомная энергетика. Электронные ЦВМ начинают широко применяться в различных областях экономики. В 50-х годах были созданы объективные условия для последующего широкого внедрения вычислительной техники в различные стороны жизни общества, что является одним из важнейших моментов научно-технической революции.

IV. ЦВМ на дискретных полупроводниковых и магнитных элементах

Создание и совершенствование машин на дискретных полупроводниковых и магнитных элементах явилось качественно новым шагом на пути эволюции электронных ЦВМ. В результате развития технологии и совершенствования структуры производительность машин возросла на два порядка величины, значительно улучшились показатели надежности, и на порядок величины возросла плотность монтажа. Существенно уменьшились относительная себестоимость (в пересчете на производительность) и потребляемая мощность.

Изменение характеристик привело к значительному расширению областей применения ЦВМ — как вследствие повышения их производительности (с результирующим расширением класса решаемых задач), так и вследствие миниатюризации, снижения себестоимости и потребляемой мощности. В свою очередь, расширение областей применения оказалось мощным фактором, стимулирующим масштабы производства и рост парка ЦВМ.

В период машин второго поколения обработка экономической информации становится доминирующей сферой применения ЦВМ. Наиболее отчетливо эта тенденция заметна в промышленно развитых капиталистических странах, в которых по состоянию на 1967 год до 80% универсальных ЦВМ использовалось в составе различных информационных систем. Применение ЦВМ в информационных и управляющих системах оказало существенное влияние на разработку машин и сопутствующего оборудования. Во-первых, произошло серьезное расширение ассортимента периферийного оборудования. В 1960 г., т. е. в начале периода машин второго поколения, затраты на разработку периферийной аппаратуры составляли в среднем 30% всех затрат на оборудование, а в 1966 г. возросли до 63%. Во-вторых, ориентация на решение экономических задач во многом обусловила расширение видов обработки информации в ЦВМ. Если для решения расчетных задач наиболее удобной являлась двоичная арифметика с плавающей запятой, то для обработки информации существенное значение имело применение десятичной арифметики и работа с полями переменной длины.

Наиболее существенное влияние на структуру машин второго

поколения оказало применение идей мультипрограммирования. Мультипрограммирование было применено с целью обеспечения более производительной совместной работы устройств машины, имеющих различное быстродействие. В ходе применения мультипрограммирования выявилось другое важное преимущество данного метода — возможность более тесного контакта между человеком и машиной в процессе решения задачи. Таким образом, представляется возможным говорить о двухаспектной исторической роли мультипрограммирования: являясь мощным средством повышения производительности, оно в то же время создало условия для высокоэффективной формы использования ЦВМ — работы в режиме автоматического распределения машинного времени (АРМВ) между абонентами, получившей значительное развитие во второй половине 60-х годов.

Стремление оптимально использовать возможности мультипрограммной работы существенно способствовало созданию мультипроцессорных ЦВМ. Дальнейшим развитием идей мультипроцессирования явились разработки в области многомашинных комплексов вычислительных средств, т. е. систем географически удаленных вычислительных центров, соединенных линиями передачи цифровой информации.

Основные особенности развития программирования в период машин второго поколения обусловлены расширением областей применения ЦВМ и усложнением их структуры. Расширение областей применения во многом обусловило разработку большого количества алгоритмических языков (около тысячи по состоянию на 1967 г.). В 1963 г. в США была начата работа по созданию алгоритмического языка, сочетающего наиболее ценные свойства языков для записи алгоритмов численного анализа («ФОРТРАН» и «АЛГОЛ»), обработки экономической информации («КОБОЛ») и информационно-логических задач («ИПЛ»). Результатом исследований явилась разработка языка «ПЛ-1», нашедшего широкое применение в современных машинах третьего поколения.

Разработка алгоритмических языков имела существенное значение для формирования в 60-х годах нового подхода к разработке ЦВМ. Вместо независимой разработки аппаратуры и некоторых средств математического обеспечения стала разрабатываться система, состоящая из совокупности аппаратурных средств и средств программирования. На протяжении 60-х годов сложилась современная система средств математического обеспечения, которой, как правило, оснащаются выпускаемые ЦВМ.

Основные особенности машин второго поколения детально рассмотрены на примере наиболее мощных вычислительных систем таких, как «Стретч» (США, 1961 г.), «Атлас» (Великобритания, 1961 г.), «Контрол Дейта 6600» (США, 1964 г.) и «БЭСМ-6» (СССР, 1966 г.).

V. ЦВМ на интегральных схемах и подсистемах

Расширение масштабов и областей применения универсальных ЦВМ во второй половине 60-х годов обусловлено как ростом потребностей в средствах механизации умственного труда, так и следующими крупными сдвигами в технологии, проектировании и структуре машин: 1) переход от технологии дискретных элементов к технологии интегральных схем (интегральной технологии); 2) развитие систем, работающих в режиме АРМВ между абонентами; 3) развитие архитектурного подхода к проектированию.

Переход к интегральной технологии явился качественно новым шагом на пути миниатюризации электронной аппаратуры. Основные направления миниатюризации электронных ЦВМ и других типов электронной аппаратуры совпадают. Развитие идет по схеме: миниатюрные дискретные компоненты — микромодули — гибридные интегральные схемы — полупроводниковые интегральные схемы. Основные стимулы миниатюризации заключаются в результате существенном повышении возможностей ЦВМ. Наиболее важную роль здесь играют такие факторы как повышение надежности элементов и улучшение эксплуатационных характеристик (уменьшение потребляемой мощности, весов и габаритов). В итоге создаются условия для увеличения максимального количества элементов, используемых в рамках вычислительной системы с результирующими возможностями усложнения ее структуры и повышения производительности. Важное значение имеют также повышение быстродействия за счет увеличения плотности компоновки с результирующим уменьшением времени задержки при передаче сигналов и снижение себестоимости в результате использования возросших возможностей автоматизации технологического процесса.

Наиболее ярко преимущества интегральной технологии проявляются на этапе применения монолитных полупроводниковых интегральных схем. Впервые идея создания полупроводниковых интегральных схем была высказана английским ученым Г. Даммером в 1952 г. Разработка первой экспериментальной аэрокосмической ЦВМ на полупроводниковых интегральных схемах (фирма «Тексас Инструментс», 1961 г.) явилась отправным пунктом дальнейших разработок в данной области в США. В 1963 г. в США интегральная технология начинает доминировать в производстве аэрокосмических ЦВМ. Внедрение интегральной технологии в стационарные ЦВМ было обеспечено снижением себестоимости интегральных схем по мере совершенствования технологических процессов с результирующим повышением выхода годных схем. В 1966 г. в США, Западной Европе и Японии интегральная технология используется в значительном большинстве новых моделей универсальных ЦВМ.

Наряду с интегральной технологией расширению масштабов применения универсальных ЦВМ во второй половине 60-х годов способствует развитие систем, работающих в режиме АРМВ меж-

ду абонентами. Концепция АРМВ, предложенная К. Стрейчи (США) в 1959 г., была впервые реализована в проекте «МАК» Массачусетского технологического института (1963 г.—ввод в эксплуатацию системы АРМВ на базе машины «ИБМ-7094»). Во второй половине 60-х годов масштабы разработок систем АРМВ существенно возрастают, что объясняется следующими преимуществами данного режима работы: непосредственная связь (диалог) абонента с машиной в процессе решения задачи, возможность подключения к машине в любой момент времени и с любого абонентского пульта, возможность одновременного использования машины некоторой группой абонентов, коллективно работающих над решением некоторой проблемы и обменивающихся необходимой информацией. Создание систем АРМВ в середине 60-х годов, во многом подготовленное работами в области мультипрограммирования, является революционным моментом развития вычислительной техники и по своему значению может быть сопоставлено с созданием первой электронной ЦВМ в 40-х годах.

Расширению масштабов применения универсальных ЦВМ во второй половине 60-х годов способствовало также развитие архитектурного подхода к проектированию ЦВМ. Одной из важнейших причин развития архитектурного подхода является систематическое повышение удельного веса средств программирования и математического обеспечения в суммарных расходах на разработку и эксплуатацию средств вычислительной техники. В СССР идея создания серии ЦВМ с единой архитектурой впервые была выдвинута Б. И. Рамеевым, по проекту которого в 1959 г. началась разработка семейства полупроводниковых машин «Урал». Огромное влияние на формирование архитектурного подхода к проектированию ЦВМ оказала разработка серии «ИБМ-360» (США), первые модели которой были выпущены в 1965 г.

Анализ развития универсальных ЦВМ во второй половине 60-х годов позволяет наметить перспективы на 70-е годы. Эти перспективы определяются, во-первых, на основе получивших развитие тенденций (таких, как тенденция к миниатюризации и тенденция к использованию систем АРМВ) и, во-вторых, на основе анализа перспективности некоторых новых разработок, таких, как средства графоаналитической связи с машиной.

В результате выявляются две наиболее общие закономерности развития универсальных ЦВМ: систематическое повышение вычислительных возможностей, обеспечиваемое в конечном счете развитием элементной базы, и упрощение связи человека с машиной. Анализ этих закономерностей позволяет наметить контуры периода машин четвертого поколения, ориентировочной датой начала которого является середина 70-х годов.

Технологической основой перехода от современных ЦВМ третьего поколения к машинам четвертого поколения является систематическое повышение степени интеграции схем. На определенном уровне интеграции имеет место переход количественных

изменений в качественные: становятся неизбежными существенные сдвиги в структуре машин и методах их проектирования.

Изменение методов проектирования обусловлено практической невозможностью ручного проектирования многокомпонентных интегральных схем из-за высокой трудоемкости проектирования в условиях все большего разнообразия типов схем. Возможности унификации интегральных схем в принципе уменьшаются с повышением степени интеграции. В этих условиях единственным выходом является комплексная автоматизация проектирования на базе вычислительных машин. Таким образом, развитие вычислительной техники неизбежно приводит к необходимости создания систем, управляемых вычислительными машинами и предназначенных для проектирования новых моделей машин.

Одним из важнейших технических средств, обеспечивающих создание систем комплексного машинного проектирования, являются средства графоаналитической связи с машиной с помощью устройств типа «световое перо». Первой работой, в которой рассматривались идеи машинного проектирования с помощью данных устройств, явился доклад А. Сазерленда (США, 1963 г.), посвященный системе «Скетчпед», реализованной на базе машины «ТХ-2». Последующие разработки в США, СССР и других странах в области средств графоаналитической связи показали, что роль данных средств далеко выходит за пределы только машинного проектирования. Принципиально новым достижением является применение графоаналитической связи при взаимодействии человека с машиной в процессе решения задачи. Данный метод был разработан в СССР под руководством В. М. Глушкова и впервые применен в машине «МИР-2» (1969 г.).

Изменения в структуре машин, обусловленные повышением интеграции схем, заключаются прежде всего в передаче ряда функций программы аппаратуре. Анализ тенденций развития позволяет утверждать, что в машинах четвертого поколения многие функции, выполняемые в настоящее время стандартными подпрограммами, будут переданы специализированной логике. Развитие интегральной технологии создает хорошие возможности для широкой реализации идей ступенчатого микропрограммирования, впервые использованных в машинах серии «МИР» (1966—1969 гг.).

Важным результатом систематического повышения интеграции является снижение себестоимости аппаратуры. Для каждого момента времени (которому соответствует некоторый уровень развития интегральной технологии) существует оптимальный уровень интеграции, определяемый минимальной стоимостью одного компонента интегральной схемы. Предварительные подсчеты показывают, что, например, в США в 1972—1973 гг. интегральная технология достигнет уровня, когда оптимальным (с точки зрения себестоимости) будет изготовление схем, содержащих около пяти тысяч компонентов, что соответствует нескольким сотням таких элементов, как вентили и триггеры. В условиях автоматизации процес-

сов проектирования и изготовления схем быстрое повышение уровня интеграции неизбежно приводит к резкому снижению себестоимости аппаратуры. Развитие систем, работающих в режиме АРМВ и использующих средства графоаналитической связи с машиной, также способствует широкому внедрению средств вычислительной техники. Взаимодополняемое (с точки зрения конечных результатов) развитие данных тенденций рассматривается в качестве основной перспективы развития универсальных ЦВМ в 70-е годы.

VI. Роль универсальных ЦВМ в современной научно-технической революции

Исследования советских и зарубежных историков науки и техники показали, что сущностью современной научно-технической революции является возможность замены функций человеческого мозга машиной, служащая предпосылкой для создания полностью автоматизированного производства. Поскольку универсальные ЦВМ являются наиболее мощным и распространенным средством в совокупности всех средств механизации умственного труда, развитие современной научно-технической революции может быть рассмотрено с позиций исследования процесса расширения масштабов и областей применения универсальных ЦВМ. Рассмотрение процессов развития трех основных сфер применения ЦВМ (научно-технические расчеты, обработка информации, управление в реальном масштабе времени) позволяет выделить следующие три периода современной научно-технической революции:

1. Период бурного развития ряда областей науки и техники, связанного с применением универсальных ЦВМ в научных исследованиях.

В данном периоде имеет место ускорение развития ряда перспективных областей научно-технического прогресса (реактивной авиации, ракетной техники, космических исследований, атомной энергетики и т. д.) под влиянием использования вычислительных машин для выполнения инженерных и научных расчетов. Сфера научно-технических расчетов является доминирующей сферой применения ЦВМ. Вычислительная машина выступает в роли ускорителя технического прогресса. В данном периоде вычислительные машины еще не используются в заметных масштабах для автоматизации производственных процессов и, соответственно, возможности автоматизации ограничены необходимостью жесткого программирования работы соответствующих систем, таких, как автоматические линии и цехи-автоматы. Хронологические рамки данного периода приблизительно совпадают с периодом зарождения электронных ЦВМ и периодом машин первого поколения и охватывают вторую половину 40-х и 50-е годы. Исходный момент данного периода — создание первой электронной ЦВМ «ЭНИАК» (1945 г.).

2. Период интенсивного внедрения процессов механизации умственного труда в различные стороны жизни общества.

В данном периоде имеет место внедрение средств вычислительной техники не только в сферу научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, но и во все основные сферы жизни общества, прежде всего в сферу планирования и управления народным хозяйством на всех уровнях, а также в такие области, как образование, здравоохранение, управление научным экспериментом и т. д. Доминирующей сферой применения ЦВМ становится обработка информации. Вычислительная машина обычно используется в рамках некоторой автоматической или автоматизированной системы. Применение систем, управляемых вычислительными машинами, для автоматизации производственных процессов революционным образом расширяет возможности автоматизации. В данном периоде имеет место существенное повышение роли науки как непосредственной производительной силы общества. Хронологические рамки периода в основном совпадают с периодами машин второго—четвертого поколения, т. е. охватывают 60-е, 70-е и (ориентировочно) 80-е годы. Исходным моментом данного периода представляется целесообразным считать создание первых систем, работающих в режиме АРМВ. Формальным показателем решения основных задач данного периода может служить создание национальных и международных вычислительных сетей с установкой абонентских пультов на уровне современного распространения таких средств информации и связи, как радио, телевидение и телефон.

3. Период завершения комплексной автоматизации сферы производства и комплексной механизации сферы управления на базе средств вычислительной техники.

Не рассматривая не являющегося актуальным в настоящее время вопроса о том, каким путем (либо путем сочетания возможностей человека и машины, либо путем создания систем, превосходящих эвристические возможности человека) пойдет дальнейшее развитие вычислительных машин, можно показать, что на любом пути будут созданы системы комплексного проектирования и производства, продуцирующие новые средства вычислительной техники. Создание подобных систем и явится исходным пунктом третьего периода научно-технической революции. Первыми шагами в данном направлении являются современные работы в области машинного проектирования.

Анализ промышленной революции, данный К. Марксом в XIII главе «Капитала», показал, что исходные моменты промышленного переворота связаны с последовательным внедрением трех крупных технических изобретений XVIII в.: а) прядильных и ткацких машин; б) универсального теплового двигателя; в) резцедержателя, изобретение которого явилось исходным моментом развития машиностроения. Таким образом, процесс развития технической революции XVIII в. и ее перерастания в промышленную революцию шел по пути последовательного применения рабочих машин: 1) в одной из отраслей производства (текстильной промышленно-

сти); 2) во всех основных отраслях производства (в результате применения парового двигателя); 3) в наиболее сложной отрасли производства (машиностроении).

В известной степени аналогичным путем (на основе последовательного расширения областей применения вычислительных машин) идет процесс развития современной научно-технической революции и ее перерастания в производственную революцию.

Существенное значение с точки зрения конкретизации путей современной научно-технической революции имеет историко-технический анализ процесса расширения масштабов и областей применения вычислительной техники. Темпы развития слагаемых уровня научно-технического прогресса в области вычислительной техники существенно различны. Во-первых, имеет место существенное отставание темпов роста производительности устройств, входящих в систему периферийного оборудования, от устройств, входящих в центральный вычислитель машины. Основной причиной этого является применение механических и электромеханических деталей в периферийной аппаратуре. Вторым и более серьезным моментом диспропорции в развитии ЦВМ является отставание темпов роста производительности труда в программировании от темпов роста производительности машин при выполнении составленных программ. Обе проблемы являются частью проблемы взаимодействия человека с центральным вычислителем. Рассматриваются методы решения данной проблемы и прогнозируется смещение центра тяжести научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в 70-х годах в область вопросов взаимодействия человека с машиной. В условиях, когда технология многокомпонентных интегральных схем создает возможности быстрого совершенствования характеристик центрального вычислителя (повышение надежности и быстродействия, снижение себестоимости и т. д.), проблемы взаимодействия человека с центральным вычислителем приобретают решающее значение для последующего развития вычислительной техники.

Важным аспектом процесса расширения масштабов и областей применения электронных ЦВМ является эффективность их применения. На основе имеющихся данных представляется возможным сформулировать следующий вывод: повышение эффективности применения электронных ЦВМ происходит по мере повышения сложности задач, решаемых с их помощью. В условиях широкого применения машин в сфере управления (планирование народного хозяйства, управление производством с помощью информационных и информационно-управляющих систем, управление объектами в реальном масштабе времени и т. д.) существенное значение приобретает уровень применения машин в данной сфере. Социалистический способ производства (по сравнению с капиталистическим) обеспечивает потенциально более высокие возможности для внедрения вычислительной техники в сферу управления на высшем уровне (управление отраслью производства, управление народным хозяйством в целом). По оценкам В. М. Глушкова и Н. Н. Моисеева

внедрение информационно-управляющей системы высшего уровня (в масштабе народного хозяйства всей страны) позволит приблизительно вдвое повысить темпы роста валового общественного продукта. Таким образом, не только масштабы применения, но и уровень применения вычислительной техники на современном этапе научно-технической революции приобретает первостепенное значение. Уровень применения средств переработки информации оказывает существенное влияние на сроки построения материально-технической базы коммунистического общества в социалистических странах и решение важнейших задач, поставленных научно-технической революцией.

ВЫВОДЫ

Основные результаты исследования заключаются в следующем:

1. Впервые дано систематизированное и детальное рассмотрение исторического процесса эволюции электронных ЦВМ, включая их зарождение, развитие и перспективы дальнейшего прогресса с анализом следующих аспектов:

а) развитие потребностей общества в средствах автоматической переработки информации;

б) развитие технических возможностей общества, отвечающих данным потребностям;

в) развитие масштабов и областей применения ЦВМ в свете причинной зависимости данного процесса от а) и б);

г) эволюция технических возможностей общества с выделением четырех факторов (физико-технологический, схемотехнический, структурный и программный), определяющих производительность ЦВМ; рассмотрение вклада каждого из этих факторов в повышение производительности под углом зрения относительно самостоятельного развития схемотехники, структуры и программирования в достаточно широких, но определенных рамках, задаваемых физико-технологическими свойствами элементной базы;

д) периодизация исторического процесса развития универсальных ЦВМ с рассмотрением тенденций в рамках каждого из периодов, включая период машин на многокомпонентных интегральных схемах, начало которого датируется серединой 70-х годов;

е) анализ идей и концепций, сыгравших значительную роль в развитии электронной вычислительной техники, с учетом показателя развития данных концепций учеными различных стран; здесь прежде всего имеются в виду идея автоматической ЦВМ, концепция машины с хранимой программой, идея операторного метода программирования, идеи микропрограммирования, концепции мультипрограммной работы, концепция работы машины в режиме АРМВ между абонентами, идеи методов графоаналитической связи человека с машиной;

2. В процессе исследования были получены данные, позволяющие

щие исправить общераспространенные ошибки в освещении периода зарождения электронной вычислительной техники;

а) первой автоматической ЦВМ с программным управлением явилась машина «Ц-3» (1941 г., К. Цузе), а не «МАРК-1» (1944 г., Г. Айкен);

б) первым проектом в области электронных ЦВМ явился проект Дж. Атанасова, разработка которого была начата в 1939 г.; к 1942 г., т. е. до начала работ по проекту «ЭНИАК», проект Дж. Атанасова был близок к завершению (но не завершен из-за прекращения финансирования ряда гражданских проектов в условиях вступления США в войну).

3. В процессе изучения эволюции ЦВМ были получены данные, представляющие интерес с точки зрения методики построения периодизации в историко-технических исследованиях. На примере развития ЦВМ были показаны как возможность построения многочисленных вариантов периодизации, отражающих логику эволюции конкретной области техники, так и целесообразность построения основной схемы периодизации, отражающей основную черту (сущность) изучаемого процесса. Особое значение для выявления основной схемы периодизации имеет рассмотрение переломных моментов в развитии данной отрасли, т. е. периодов качественного (революционного) изменения характеристик машин и устройств. Рассмотрение причин качественного изменения характеристик позволяет выявить наиболее важный фактор (факторы), влияющие на эволюцию данного типа машин. Исследование развития данного фактора (факторов) на протяжении всей истории изучаемой отрасли техники позволяет получить исходные данные для построения основной схемы периодизации. Критерием правильности выбора основной схемы периодизации может служить ее сопряженность (соответствие) со схемой развития более общего процесса, частью которого является изучаемый процесс.

4. Исследование «борьбы» противоречий как движущей силы научно-технического прогресса в области ЦВМ приводит к следующему заключению. Создание и эволюция электронных ЦВМ явились следствием противоречий между: а) повышением сложности технических систем и возможностями их проектирования, конструирования и работы; б) развитием экономики и возможностями ее управления; в) ростом объема информации и возможностями ее переработки. В рамках электронной вычислительной техники основной движущей силой на современном этапе является противоречие между быстрым ростом производительности центральных устройств обработки данных и значительно более медленным процессом улучшения характеристик взаимодействия человека с машиной. Развитие разработок, направленных на «снятие» этого противоречия, является важнейшим моментом программы работ в области ЦВМ в ближайшее десятилетие (70-е годы).

5. При исследовании роли универсальных ЦВМ в современной научно-технической революции впервые предложена и обоснована

изложенная в разделе VI периодизация научно-технической революции, основанная на анализе развития областей применения средств вычислительной техники.

6. На современном этапе экономического соревнования капиталистических и социалистических стран чрезвычайно важное значение имеет присущий социалистическому способу производства более высокий уровень потенциальных возможностей применения информационно-управляющих систем, а именно применение на уровне управления отдельными отраслями народного хозяйства и народным хозяйством в целом. Соответственно одной из важнейших задач построения материально-технической базы коммунизма является не только существенное расширение масштабов внедрения ЭВМ, но и ориентация на высокий уровень их применения.

Основные положения диссертации были доложены на IX, X, XI, XII и XIII научных конференциях ИИЕиТ АН СССР (1966—1970), IV Всесоюзном симпозиуме по прогнозированию (Москва, 1969) и II Всесоюзном симпозиуме «Теория и практика научно-технической информации» (Новосибирск, 1970).

Важнейшие результаты исследования изложены в следующих работах:

1. И. А. Апокин. Основные этапы развития электронных цифровых вычислительных машин. Труды IX научной конференции ИИЕиТ АН СССР. М., изд. ВИНТИ, 1967, стр. 18—21.

2. И. А. Апокин. Закономерности развития электронной вычислительной техники. Труды X научной конференции ИИЕиТ АН СССР. М., ВИНТИ, 1968, стр. 3—6.

3. И. А. Апокин. Основные направления исследований при прогнозировании развития цифровой вычислительной техники. Труды XII научной конференции ИИЕиТ АН СССР. М., изд. «Знание», 1969, стр. 23—27.

4. И. А. Апокин. Основная схема периода зарождения электронных ЦВМ. Труды XIII научной конференции ИИЕиТ АН СССР. М., изд. «Знание», 1971.

5. И. А. Апокин, Л. Е. Майстров. Эволюция цифровых вычислительных машин. «Вопросы истории естествознания и техники» (в печати).

6. И. А. Апокин, Л. Е. Майстров. Развитие вычислительных машин (30 а. л.). М., изд. «Наука» (в печати).

В диссертации были использованы также результаты ряда работ автора в области тонких магнитных пленок, в том числе:

1. И. А. Апокин, Г. Ф. Кипаренко. Тонкие магнитные пленки в вычислительной технике. М.-Л., изд. «Энергия», 1964.

2. И. А. Апокин. Технология изготовления ферромагнитных пленок, М. Л., изд. «Энергия». 1966.